

TECHNISCHER LEITFADEN

Ausgabedatum: 03.11.2025

Von: Hilti Schweiz AG

Durchstanzverstärkung mit Hilti HIT-Punching Shear gemäss SIA 262:2017

1. Einleitung

In den Jahren 2024-25 führte die Hilti AG ein Qualifizierungsprojekt für das nachträglich installierte Verstärkungssystem „HIT-Punching Shear“ mit HIT-RE 500 V4 durch, das auf die strukturelle Verstärkung von Flachdecken aus armiertem Beton und Fundamenten mit unzureichendem Durchstanzwiderstand abzielt. Die Qualifizierung umfasste Tests und Bewertungen unter statischen und quasi-statischen Lasten. Diese umfangreiche Versuchsreihe führte zur Erteilung der allgemeinen Bauartgenehmigung (aBG) Nummer **aBG Z-15.5-387**, die in Deutschland für Hiltis neue nachträgliche Durchstanz-Verstärkungslösung gültig ist.

Die **aBG Z-15.5-387** bietet ein Bemessungsverfahren auf der Grundlage der **DIN EN 1992-1-1:2011** integriert mit dem deutschen Nationalen Anhang **DIN EN 1992-1-1/NA:2013**. Dieses Verfahren wurde durch Kalibrierung der Versuchsergebnisse gemäss den allgemeinen Zuverlässigkeitsanforderungen der Eurocodes entwickelt. Die daraus resultierenden Bemessungsgleichungen stimmen vollständig mit dem in **DIN EN 1992-1-1:2011** verwendeten Modell für den Durchstanzwiderstand überein.

Vor diesem Hintergrund dient das vorliegende Dokument als ergänzender Leitfaden für die Verwendung der aBG zur Bemessung von Verstärkungsmassnahmen mit HIT-Punching Shear in der Schweiz. Es vergleicht die in **aBG Z-15.5-387** beschriebenen Bemessungsgleichungen für die Durchstanz-Verstärkungslösung mit den Anforderungen der **SIA 262:2017** und passt Gleichungen oder Parameter bei Bedarf an, um die Sicherheitsstandards und Betonausführungsregeln der Schweizer Bemessungsnorm zu erfüllen.

2. Wesentliche Unterschiede zwischen DIN EN 1992-1-1/NA und SIA 262 für die Bemessung auf Durchstanzen

In **DIN EN 1992-1-1/NA:2013** werden die Bemessungsgleichungen für Stahlbetonbauteile mit Durchstanzbewehrung aus einem Modell abgeleitet, das dem Ansatz für Durchstanzwiderstand in Balken und Platten ähnelt, wobei der Festigkeitskoeffizient $C_{Rd,c}$ einen halbempirischen Ausdruck multipliziert, der die wichtigsten Einflussparameter (d. h. die effektive statische Höhe d , das Längsbewehrungsverhältnis ρ_l und die charakteristische Betonfestigkeit f_{ck}) berücksichtigt. Andererseits basiert **SIA 262:2017** auf einem mechanischen Modell, der sogenannten Critical Shear Crack Theory (CSCT), bei der die Öffnung des kritischen Schubrisses weitgehend der Durchstanzwiderstand bestimmt, wobei die Rissbreite proportional zum Produkt aus der Drehung der Platte und der effektiven statischen Höhe ist.

SIA 262:2017 bietet Konstrukteuren die Wahl zwischen vereinfachten und detaillierten Methoden zur Bestimmung des Durchstanzwiderstands von Betonbauteilen mit Durchstanzbewehrung. Diese Methoden beinhalten oder basieren direkt auf den verschiedenen Annäherungsstufen aus dem **fib-Modellcode 2010**. Bei einem querkraftbewehrten Bauteil ist der Beitrag von Beton und Stahlbewehrung zum kombinierten Widerstand nicht konstant, anders als bei und , da der Beitrag des Betons im Verhältnis zum Beitrag des Stahls umso geringer ist, je grösser die Plattenrotation ist.

3. Unterschiede in den Formulierungen zur Durchstanzbeanspruchung in DIN EN 1992-1-1:2011 + NA und SIA 262:2017

In beiden Normen ergibt sich die Gesamtwiderstandsfähigkeit gegen Durchstanzbeanspruchung aus der Summe der Beiträge von Beton, $V_{Rd,c}$, und Stahlbewehrung, $V_{Rd,s}$; Im Gegensatz zu **DIN EN 1992-1-1:2011** liegt der für die Nachweise für Durchstanzbeanspruchungen in **SIA 262:2017** verwendete Kontrollabschnitt jedoch näher an der Kante des belasteten Bereichs, nämlich bei $0,5d_{ef}$ anstelle von $2,0d_{ef}$, wobei d_{ef} die effektive statische Höhe der Platte ist.

Darüber hinaus wird der kombinierte Einfluss der Ausmittigkeit (aus Biegemomenten und den Unterschieden zwischen den Schwerpunkten der Stütze und dem durch den Kontrollabschnitt begrenzten Bereich, u_{crit}) in den beiden Normen unterschiedlich erfasst: In **DIN EN 1992-1-1:2011** verstärkt ein Lastvergrösserungsfaktor, β , die Bemessungs-Durchstanzkraft, V_{Ed} ; in **SIA 262:2017** wird der Perimeter des Kontrollabschnitts um den Faktor k_e reduziert. Beide Faktoren erhöhen effektiv die Bemessungs-Scherbeanspruchung, τ_{Ed} . Der Übersichtlichkeit halber sind in Tabelle 1 die wichtigsten Bemessungsformulierungen der beiden Normen zusammengefasst.

Tabelle 1: Wichtige Ausdrücke für die Bemessung von Durchstanzbewehrungen gemäss DIN EN 1992-1-1/NA:2013 und SIA 262:2017

Bemessungsstandard	DIN EN 1992-1-1/NA:2013	SIA 262:2017
Entfernung des Kontrollabschnitts u_{crit} aus dem belasteten Bereich wird festgelegt auf:	$2,0d_{ef}$	$0,5d_{ef}$
Faktor für ausmittige Querkraftverteilung:	β	k_e
Reduzierter Kontrollperimeter durch ausmittige Querkraft:	-	$u_{red} = k_e \cdot u_{crit}$
Bemessungs-Durchstanzkraft V_{Ed} [kN]	$\beta \cdot V_{Ed}$	V_{Ed}
Durchstanzwiderstand ohne Querkraftbewehrung (Platten) $V_{Rd,c}$ [kN]	$\left(\max \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}}, v_{min} \right] + k_1 \sigma_{cp} \right) u_{crit} d_{ef}$	$k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u_{red}$
Durchstanzwiderstand ohne Querkraftbewehrung (Fundamente) $V_{Rd,c}$ [kN]	$\left(\max \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}}, v_{min} \right] \cdot \frac{2d_{ef}}{a_{crit}} \right) u_{crit} d_{ef}$	$k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u_{red}$
Durchstanzwiderstand durch Verstärkung $V_{Rd,s}$ [kN]	$1,5 \left(\frac{d_{ef}}{s_r} \right) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef}$	$\Sigma A_{sw} \cdot k_e \cdot \sigma_{swd}$
Kombinierter Widerstand gegen Durchstanzen ohne Querkraftverstärkung $V_{Rd,cs}$ [kN]	$0,75V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$	$V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$
Maximale Widerstandsfähigkeit der Kompressions-Druckstrebe $V_{Rd,max}$	$\begin{cases} k_{max} \cdot V_{Rd,c} \\ k_{max} = 1,4 \end{cases}$	$\begin{cases} 2,0 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u_{red} \leq \\ 3,5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u_{red} \end{cases}$

4. Anpassungen an SIA 262:2017 für die Verwendung mit dem Verstärkungssystem HIT-Punching Shear

Da die Ergebnisse der Versuchskampagne gut mit und korrelieren, erfordert die Bemessung auf mit dem Verstärkungssystem Hilti HIT-Punching Shear nur geringfügige Änderungen, die in diesem Abschnitt **rot** markiert sind.

4.1 Nachweis des Widerstands ohne Durchstanzbewehrung

Die Überprüfung des Durchstanzwiderstandes gemäss [4] erfolgt durch die initiale Bewertung des Widerstandes ohne Durchstanzbewehrung, also des Beitrags des Betons, im Kontrollabschnitt u , der $0.5 d_{ef}$ von der Stützfläche entfernt liegt. Wenn die Stütze nicht in die Platte eindringt, wie in [Abbildung 20](#) in [4] dargestellt, werden die statische Höhe d_v und der Kontrollabschnitt u in [Gleichung 57](#) [4] durch d_{ef} bzw. u_{red} aus Tabelle 1 ersetzt.

$$V_{Rd,c} = k_d k_r \tau_{cd} d_{ef} u_{red} \quad (\text{kN}) \quad (\text{Gl. 1})$$

wobei,

k_d : Die Verringerung des Betonwiderstands bei Verwendung von Verstärkungselementen mit einem Durchmesser von M16 in Platten mit einer statischen Höhe, $d_{ef} \leq 280 \text{ mm}$, wird gegeben durch:

$$k_d = \begin{cases} 0,95, & \text{M16 und } d_{ef} \leq 280 \text{ mm} \\ 1,00, & \text{Standardsituationen} \end{cases}$$

Die Verringerung des Betonwiderstands wird auf eine grössere Restüberdeckung, c_{res} , zurückgeführt, erforderlich für die M16-Stange in dünneren Platten – 40 mm statt 35 mm –, um ein Abplatzen des Betons auf der gegenüberliegenden Seite beim Bohren zu verhindern (siehe [Tabelle 4](#)). In solchen Szenarien kann die grössere Überdeckung die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass der kritische Scherriss leicht oberhalb der Spitze der Ankerstange durchgeht. Dies hat auch Auswirkungen auf den zweiten Koeffizienten, k_{pi} , bei der Überprüfung des Widerstands in der schubverstärkten Zone (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** unten).

$$\tau_{cd} = \frac{0,3 \eta_t \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c}: \text{ Bemessungs-Querkraftwiderstand von Beton,} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (\text{Gl. 3})$$

f_{ck} : charakteristische Druckfestigkeit von Beton in MPa aus [Tabelle 3](#).

γ_c : Teilsicherheitsfaktor für Beton, gemäss [Abschnitt 2.3.2.6](#).

η_t : Der Koeffizient für die Betonfestigkeit unter Berücksichtigung der Expositionsdauer und des Alters des Betons. Gemäss [Abschnitt 4.2.1.3](#) kann dieser Wert entweder 0,85, 1,0 oder 1,2 betragen.

$$k_r = \frac{1}{0,45 + 0,18 \cdot k_g \cdot \psi \cdot d_{ef}} \leq 2: \text{ Koeffizient zur Berücksichtigung der Plattenrotation} \quad (\text{Gl. 58})$$

$$k_g = \frac{48}{16 + D_{max}}: \text{ Koeffizient für den Einfluss der Zuschlagsverzahnung}$$

D_{max} : maximale Grösse des Zuschlagstoffs

$$\text{Koeffizient für die Plattenrotation (für jede Achse bestimmt), } \psi = 1,5 \cdot \frac{r_s}{d_{ef}} \cdot \frac{f_{yd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd}}{m_{Rd}} \right)^{3/2} \quad (\text{rad}) \quad (\text{Gl. 59})$$

- r_s : Abstand zwischen der Auflagerachse und dem Punkt der Momentenumkehr
- f_{yd} : Streckgrenze der Biegebewehrung
- E_s : E-Modul der Biegebewehrung
- m_{sd} : Biegemoment im Stützstreifen

- m_{Rd} : Biegewiderstand des Stützstreifens, die gemäss der Theorie der starren Plastik als folgt betrachtet werden kann:

$$m_{Rd} = \rho \cdot d^2 \cdot f_{yd} (1 - 0.5 \rho \cdot f_{yd} / f_{cd}) \quad (\text{kNm/m}) \quad (\text{Gl. 19})$$

Die Plattenrotation in Gl. 59 kann für jede Richtung gemäss einer von drei Näherungsstufen (LOA) bewertet werden:

- **LOA 1** gilt für regelmässig gestützte Platten mit einem Spannweitenverhältnis $0.5 \leq L_x/L_y \leq 2.0$ und ohne grosse plastische Umverteilung, $m_{sd}/m_{Rd} = 1.0$ und $r_s = 0.22L_x$ oder $0.22L_y$ (L_x und L_y sind die Spannweitenlängen in x - bzw. y -Richtung).
- **LOA 2** folgt denselben Schritten wie LOA 1, mit der Ausnahme, dass das Biegemoment im Stützstreifen, m_{sd} , entweder durch Gl. 61, 62, 63 oder 64 bestimmt wird. Die Breite des Stützstreifens wird bestimmt durch:

$$b_s = 1.5 \sqrt{\tau_{sx} \cdot \tau_{sy}} \leq l_{min} r_{min} = \min(L_x; L_y) \quad (\text{mm}) \quad (\text{Gl. 60})$$

- **LOA 3** gilt für Platten mit komplexen Geometrien, bei denen das Spannweitenverhältnis $L_x/L_y < 0.5$ oder $L_x/L_y > 2.0$, m_{sd} durch Gl. 61, 62, 63, oder 64 bestimmt wird und r_s durch eine detaillierte Analyse, z. B. unter Verwendung eines Finite-Elemente-Modells, bestimmt wird. Der Faktor 1.5 in Gl. 59 wird ersetzt durch 1.2. Für Rand- und Eckstützen gilt $r_{s,min} \geq 0.67 b_{sr} r_{b_{sr}} \leq b_s$ gemäss Abbildung 24.

4.2 Nachweis des maximalen Durchstanzwiderstands und Widerstands ausserhalb der querkraftbewehrten Zone

Analog zu Gl. 69 ist der maximale Durchstanzwiderstand auf die folgende Bedingung begrenzt, um ein Quetschen der Betonstreben im Bereich des Auflagers zu vermeiden:

$$V_{Rd,max} = k_d \cdot (2.0 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{ef} \cdot u_{red}) \leq k_d \cdot (3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_{ef} \cdot u_{red}) \quad (\text{kN}) \quad (\text{Gl. 5})$$

Der Umfang der querkraftbewehrten Zone wird durch die Bewertung des Durchstanzwiderstands ausserhalb der querkraftbewehrten Zone bestimmt, der iterativ oder gemäss der folgenden Bedingung ermittelt werden kann:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c,out} = k_r \tau_{cd} d_{ef,out} u_{out} \quad (\text{kN}) \quad (\text{Gl. 6})$$

- $d_{ef,out}$: wirksame statische Höhe der Platte oder des Fundaments am Aussenperimeter, reduziert um die Restüberdeckung c_{res} , analog zu Abschnitt 4.3.6.5.9 und Abbildung 25.
 - Daher $d_{ef,out} = d_{ef} - c_{res}$
- u_{out} : Aussenperimeter, an dem keine Verstärkung mehr erforderlich ist, festgelegt gemäss Abschnitt 4.3.6.5.9 und Abbildung 25 in einem Abstand von $0.5d_{ef}$ vom Verstärkungsperimeter, der am weitesten von der Stützfläche entfernt ist.
 - **Hinweis:** u_{out} wird in der Regel durch $k_{e,out}$ modifiziert, das die Ausmittigkeit des Aussenperimeters vom Schwerpunkt des Auflagers berücksichtigt.
 - Somit $u_{out,mod} = u_{out} / k_{e,out}$, wobei $k_{e,out}$ durch $k_{e,out} = 1 / (1 + e_u / 2r_{out})$ bestimmt werden kann, und r_{out} der Abstand vom Mittelpunkt des Auflagers zu u_{out} ist.

- **Ausführungsregeln: Begrenzungen hinsichtlich der Positionierung und des Höchst- und Mindestabstands**

Die mit dem Verstärkungssystem Hilti HIT-Punching Shear verstärkten Abschnitte wurden gemäss entworfen und detailliert, wobei der Abstand des ersten Verstärkungssperimeters, s_0 , von der Stützfläche zwischen $0.3d_{ef} \leq s_0 \leq 0.5d_{ef}$ liegt, wobei eine Überschreitung der Obergrenze generell vermieden werden sollte, da dies das Risiko mit sich bringen würde, dass sich der kritische Riss vollständig entwickeln kann, ohne von den Verstärkungselementen abgefangen zu werden. Der Abstand zwischen den Bewehrungsringen s_r ist in der Regel grösser oder gleich s_0 , darf jedoch nicht kleiner sein als der Mindestabstand zwischen zwei Verstärkungselementen s_{min} äss Tabelle 3.

Laut trägt nur die Verstärkung $\sum A_{sw}$, die zwischen $0.35d_{ef}$ und $1.0d_{ef}$ positioniert ist, zum gesamten Durchstanzwiderstand bei, die durch Gl. 2 dieses Dokuments beschrieben wird. Ähnlich wie in Abbildung 39 und Tabelle 20 von, sind s_0 und s_r für das Verstärkungssystem HIT-Punching Shear mit der statischen Höhe d_{ef} der Platte oder des Fundaments in Tabelle 2 verknüpft.

Tabelle 2: Minimaler und maximaler radialer Abstand für Platten und Fundamente beim HIT-Punching Shear Verstärkungssystem

Effektive statische Höhe, d_{ef} [mm]	Abstand vom belasteten Bereich zum ersten Bewehrungsring, s_0	Abstand zwischen dem ersten, zweiten und den folgenden Ringen, s_r
160-180	$0.35d_{ef} \leq s_0 \leq 0.5d_{ef}$	$s_{min} \leq s_r \leq 0.66d_{ef}$
181-340		$s_{min} \leq s_r \leq 0.75d_{ef}$
341-1100		$s_{min} \leq s_r \leq 200 + d_{ef} / 6$

Abgesehen von der allgemeinen Regel, dass zwischen benachbarten Bewehrungsseisen ein Abstand einzuhalten ist, um eine gleichmässige Verteilung des Betons und der Zuschlagstoffe während des Betonierens zu ermöglichen, gibt es keinen spezifischen Mindestabstand. s_{min} Gilt für die Durchstanzverstärkung in und . Allerdings ist ein relativ grösserer Abstand zwischen benachbarten nachträglich installierten Verstärkungselementen erforderlich, um ein Spalten des Betons zwischen den Elementen zu vermeiden. Dies ergibt sich aus den Versuchen und ist in Tabelle 3 definiert. Darüber hinaus gilt der Mindestabstand auch für den tangentialen Abstand, s_t Zwischen benachbarten Verstärkungselementen in jedem Verstärkungssperimeter darf der Höchstwert die in Tabelle 3 festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten.

Tabelle 3: Mindestabstand radial und tangential sowie maximaler Abstand tangential für Platten und Fundamente

Verstärkungselement	Mindestabstand radial und tangential, s_{min}	Tangentialer Abstand zwischen benachbarten Elementen:	
		In den ersten beiden Verstärkungsbereichen	Im dritten Perimeter und darüber hinaus
M12	72	$s_{min} \leq s_t \leq 1,5d_{ef}$	$s_{min} \leq s_t \leq 2,0d_{ef}$
M16	96		
M20	120		
M24	144		

Tabelle 20 von verknüpft auch den Durchmesser der Durchstanzverstärkung mit der statischen Höhe, die durch Grenzwerte in Tabelle 4 für das Verstärkungssystem Hilti HIT-Punching Shear ersetzt werden. Darüber hinaus schreibt Abschnitt 5.5.3.12 von eine maximale Überdeckung von $c_v = d_v/6$ zwischen der Spitze der Durchstanzverstärkung und der Druckfläche der Platte vor. Kann diese Bedingung jedoch nicht erfüllt werden – beispielsweise aufgrund einer grösseren Überdeckung, die aufgrund der Expositionsklasse erforderlich ist –, müssen die Durchstanzwiderstände $V_{Rd,c}$ und $V_{Rd,s}$ um 30 % reduziert werden.

Für das Verstärkungssystem Hilti HIT-Punching Shear ist c_v unabhängig von der Expositionsklasse und wird stattdessen durch einen festen Wert von c_{res} in Tabelle 4 beschrieben, der erforderlich ist, um eine Abplatzung des Betons während des Bohrens zu vermeiden, und unabhängig von der Bauteildicke beibehalten wird. h Eine Reduzierung der Durchstanztragfähigkeit ist nicht erforderlich, da die Prüfungen mit der kleinsten zulässigen statischen Höhe von $d_{ef} = 160\text{ mm}$ das dem grössten Verhältnis von c_{res}/d_{ef} entspricht, für die kritischsten Installationsbedingungen, d. h. von der Druckseite des Abschnitts aus.

Tabelle 4: Betondeckung und minimale wirksame statische Höhe des Querschnitts für jede Durchmessergrösse der Verstärkungselemente

Durchmesser der Ankerstange	M12	M16		M20	M24
Minimale statische Höhe, $d_{ef,min}$	160	160	280	350	420
Betondeckung, c_{res}	35	40	40	45	60

Ein ausgearbeitetes Beispiel in Anhang A fasst das Bemessungsverfahren unter Verwendung von [4] in Verbindung mit [1] zusammen. Für spezifische Bemessungsanforderungen verwenden Sie bitte das Modul „Nachträgliche Durchstanzverstärkung“ in PROFIS Engineering oder wenden Sie sich an den Engineering Support der Hilti (Schweiz) AG.

Anhang A: Bemessungsbeispiel für eine mit dem HIT-Punching Shear Verstärkungssystem nachgerüstete Stahlbetonplatte

1. Eingaben

- Angewandte faktorisierte Belastung: $g_d + q_d = 20\text{ kN/m}^2$
- Bemessungsreaktionen im Auflager: $N_{Ed} = 1250\text{ kN}$ und $V_{inst} = 500\text{ kN}$
- Bemessungsbiegemomente: $M_{Ed,x} = 50\text{ kN}$ und $M_{Ed,y} = 30\text{ kN}$
- Stützenabmessungen ($C_x \times C_y$): $200 \times 600\text{ mm}$

- Spannweiten zu benachbarten Stützen ($L_x \times L_y$): $7000 \times 7000 \text{ mm}$
- Position – **Innere** Stütze: $k_e = 0.94$ (berechnet)
- Plattendicke: $h = 350 \text{ mm}$
- Statische Höhe in x und y : $d_x = 317 \text{ mm}$; $d_y = 301 \text{ mm}$
- Betonfestigkeit der Platte und maximale Zuschlagstoffgrösse: $f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$, $D_{max} = 32 \text{ mm}$
- Biegefestigkeit des Bewehrungsstahls: $f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_s = 1.15$, $E_s = 205 \text{ GPa}$
- Betonparameter:

$f_{cd} [\text{N/mm}^2]$	$\eta_t [-]$	$\eta_{fc} [-]$	$\gamma_c [-]$	$\tau_{cd} [\text{N/mm}^2]$	$f_{ctm} [\text{N/mm}^2]$	$f_{bd} [\text{N/mm}^2]$
20.59	0.85	0.91	1.50	0.931	2.90	2.703

Das Längsbewehrungsverhältnis wird pro Meter Plattenbreite als konstant angenommen:

- In x -Richtung $\rho_{l,x} = \frac{A_{sl,x}}{1000 \cdot d_x} = \frac{2011}{1000 \cdot 317} = 0.634\%$ (von $\Phi 16 \text{ mm}$ bei 100 mm Mittenabstand)
- In y -Richtung $\rho_{l,y} = \frac{A_{sl,y}}{1000 \cdot d_y} = \frac{2011}{1000 \cdot 301} = 0.668\%$ (von $\Phi 16 \text{ mm}$ bei 100 mm Mittenabstand)

2. Perimeterdefinitionen

Beschreibung	Variable	Nutzen
Stützenumfang	u_0	1600 mm
Mittlere statische Höhe	d_{ef}	309 mm
Kontrollumfang bei $0,5d_{ef}$ mit Reduzierung ab Öffnung	u_{crit}	2571 mm
Reduzierung durch Öffnungen	Δu_{crit}	0 mm
Bereich innerhalb des Kontrollumfangs	A_{crit}	442191 mm^2
Schubwirksamer Kontrollumfang	u_{red}	2417 mm
Aussenumfang, wo keine Durchstanzbewehrung erforderlich ist	u_{out}	4018 mm
Modifizierter äusserer Umfang, wo keine Durchstanzbewehrung erforderlich ist	$u_{out,mod}$	4223 mm

3. Bemessungs-Querkraft

Die Bemessungs-Durchstanzkraft erfolgt auf Grundlage der innerhalb des Kontrollperimeters aufgetragenen Last:

4.3.6.2.6

$$V_{Ed} = N_{Ed} - (g_d + q_d) \cdot A_c = 1250 - (20 \cdot 0.442) = 1241 \text{ kN}$$

4. Lastexzentrizitätsparameter

- Ausmittigkeit zwischen den Schwerpunkten des Kontrollabschnitts und der Stütze in x , $\Delta e_x = 0 \text{ mm}$
- Exzentrizität zwischen den Schwerpunkten des Kontrollabschnitts und der Stütze in y , $\Delta e_y = 0 \text{ mm}$
- Exzentrizität der Last in x , $|e_{u,x}| = \left| \frac{M_{Ed,x}}{V_{Ed}} - \Delta e_x \right| = \left| \frac{50 \cdot 10^6}{1241 \cdot 10^3} - 0 \right| = 40 \text{ mm}$
- Exzentrizität der Last in y , $|e_{u,y}| = \left| \frac{M_{Ed,y}}{V_{Ed}} - \Delta e_y \right| = \left| \frac{30 \cdot 10^6}{1241 \cdot 10^3} - 0 \right| = 24 \text{ mm}$
- Resultierende Exzentrizität, $e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2} = \sqrt{40^2 + 24^2} = 47 \text{ mm}$

- 4.3.6.2.4 • Durchmesser eines Kreises mit einer Fläche, die entspricht A_{crit} , $b = \sqrt{\frac{4}{\pi} A_{crit}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 442191} = 750 \text{ mm}$
- Gl. 56 [4] • Lastexzentrizitätsparameter: $k_e = \left(\frac{1}{1 + e_u/b} \right) = \left(\frac{1}{1 + 47/750} \right) = 0.94$

5. Plattenrotationen (berechnet mit Approximationsgrad 2 gemäss 4.3.6.4.2)

Abstand vom Schwerpunkt der Stütze zum Punkt der Gegenbiegung (Nullmomente):

4.3.6.4.4
$$r_{s,x} = 0.22L_x = 0.22 \cdot 7000 = 1540 \text{ mm}$$
$$r_{s,y} = 0.22L_y = 0.22 \cdot 7000 = 1540 \text{ mm}$$

Breite des Stützstreifens für eine **innere** Stütze: $b_s = 1.5\sqrt{r_{s,x} \cdot r_{s,y}} \leq l_{min} = \min(L_x; L_y)$

Eq. 60
$$b_s = 1.5\sqrt{1540 \cdot 1540} = 2310 \text{ mm} \leq \min(7000; 7000)$$

Biegemoment im Stützstreifen in x -Richtung ($b_{sr,x} = b_s$):

Gl. 61
$$m_{sd,x} = V_{Ed} \left(\frac{1}{8} + \frac{|e_{u,x}|}{2b_{sr,x}} \right) = 1241 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{8} + \frac{40}{2 \cdot 2310} \right) = 166 \text{ kNm}$$

Biegemoment im Stützstreifen in y -Richtung ($b_{sr,y} = b_s$):

Gl. 61
$$m_{sd,y} = V_{Ed} \left(\frac{1}{8} + \frac{|e_{u,y}|}{2b_{sr,y}} \right) = 1241 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{8} + \frac{24}{2 \cdot 2310} \right) = 162 \text{ kNm}$$

Biege Widerstand des Stützstreifens in x -Richtung: $m_{Rd,x} = \rho_{l,x} \cdot d_x^2 \cdot f_{yd} \left(1 - 0.5\rho_{l,x} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right)$

Gl. 18
$$m_{Rd,x} = 0.00634 \cdot 317^2 \cdot 435 \left(1 - 0.5 \cdot 0.00634 \cdot \frac{435}{20.59} \right) = 259 \text{ kNm}$$

Biege Widerstand des Stützstreifens in y -Richtung: $m_{Rd,y} = \rho_{l,y} \cdot d_y^2 \cdot f_{yd} \left(1 - 0.5\rho_{l,y} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right)$

Gl. 18
$$m_{Rd,y} = 0.00668 \cdot 301^2 \cdot 435 \left(1 - 0.5 \cdot 0.00668 \cdot \frac{435}{20.59} \right) = 245 \text{ kNm}$$

Plattenrotation in x -Richtung: $\psi_x = 1.5 \cdot \frac{r_{s,x}}{d_x} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd,x}}{m_{Rd,x}} \right)^{3/2}$

Gl. 59
$$\psi_x = 1.5 \cdot \frac{1540}{317} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{166}{259} \right)^{3/2} = 0.00795 \text{ rads}$$

Plattenrotation in y -Richtung: $\psi_y = 1.5 \cdot \frac{r_{s,y}}{d_y} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd,y}}{m_{Rd,y}} \right)^{3/2}$

Gl. 59
$$\psi_y = 1.5 \cdot \frac{1540}{301} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{162}{245} \right)^{3/2} = 0.00875 \text{ rads} \rightarrow \text{regelnde Rotation}$$

6. Überprüfung ohne Durchstanzbewehrung

Gl. 37 Verriegelungseffekt des Zuschlagstoffs, $k_g = \frac{48}{16+D_{max}} = \frac{48}{16+32} = 1.0$

Gl. 58 Rotationsparameter, $k_r = \min\left(\frac{1}{0.45+0.18 \cdot k_g \cdot \psi \cdot d_{ef}}; 2\right) = \min\left(\frac{1}{0.45+0.18 \cdot 1.0 \cdot 0.00875 \cdot 309}; 2\right) = 1.068$

Gl. 1 Bemessungswiderstand ohne Durchstanzbewehrung, $V_{Rd,c} = k_d(k_r \tau_{cd} d_{ef} u_{red})$

$$V_{Rd,c} = 1.0 \cdot (1.068 \cdot 1.075 \cdot 309 \cdot 2417) = 857 \text{ kN}$$

Da $V_{Rd,c} \leq V_{Ed}$, ist eine Verstärkung erforderlich!

Maximaler Durchstanzwiderstand ($k_d = 1.0$): $V_{Rd,max} = k_d \cdot \min(2 \cdot k_r; 3, 5) \cdot \tau_{cd} \cdot d_{ef} \cdot u_{red}$

$$V_{Rd,max} = 1.0 \cdot \min(2 \cdot 1.068; 3, 5) \cdot 1.075 \cdot 309 \cdot 2417 = 1715 \text{ kN}$$

Da $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ stärkung möglich!

7. Überprüfung mit dem Verstärkungssystem HIT-Punching Shear

Nach Umformulierung von Gl. 65 muss die Bemessung des Durchstanzwiderstands folgende

Bedingung erfüllen:

$$\min(V_{Rd,c} + V_{Rd,s,pi}; V_{Rd,max}) \geq V_{Ed}$$

16 8.8 HAS(-U) mit $A_{sw} = 157 \text{ mm}^2$ ist ausreichend, um mit der Überprüfung fortzufahren, wobei

$d_{ef} = 309 \text{ mm}$, $k_d = 1.0$ und $k_{pi} = 0.82$ zur Überprüfung von $V_{Rd,s,pi}$ verwendet werden.

Gl. 2 Widerstand durch HIT-Punching Shear-Bewehrung, $V_{Rd,s,pi} = k_{pi} \cdot (\sum A_{sw} \cdot k_e \cdot \sigma_{swd}) \geq 0.5 V_{Ed}$
und Gl. 66

Effektiver Bemessungswiderstand der Verstärkungselemente ($f_{ywd} = 390 \text{ N/mm}^2$),

Gl. 4
$$\sigma_{swd} = \frac{E_{sw} \cdot \Delta\psi}{6} \cdot \left(1 + \frac{f_{bd}}{f_{ywd}} \cdot \frac{d_{ef}}{\phi_{sw}}\right) \leq f_{ywd}$$

$\Delta\psi = \psi(V_{Ed}) - \psi(V_{inst})$: Effektive Plattenrotation, die durch das Verstärkungssystem HIT-Punching Shear nach der Verstärkung aktiviert wird, berechnet als Differenz zwischen der Plattenrotation im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) $\psi(V_{ULS})$ und im quasi-permanenten Belastungszustand während der Installation $\psi(V_{inst})$. Da $V_{inst} = 500 \text{ kN}$, sind die entsprechenden Biegemomente im Stützstreifen:

- Gl. 61 [4] • Biegemoment im Stützstreifen in x-Richtung ($b_{sr,x} = b_s$):

$$\Delta m_{sd,x} = V_{inst} \left(\frac{1}{8} + \frac{|e_{u,x}|}{2b_{sr,x}} \right) = 500 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{8} + \frac{40}{2 \cdot 2310} \right) = 67 \text{ kNm}$$

- Gl. 61 [4] • Biegemoment im Stützstreifen in y-Richtung ($b_{sr,y} = b_s$):

$$\Delta m_{sd,y} = V_{inst} \left(\frac{1}{8} + \frac{|e_{u,y}|}{2b_{sr,y}} \right) = 500 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{8} + \frac{24}{2 \cdot 2310} \right) = 65 \text{ kNm}$$

- Plattenrotation in x-Richtung: $\Delta\psi_x = 1.5 \cdot \frac{r_{s,x}}{d_x} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left[\left(\frac{m_{sd,x}}{m_{Rd,x}} \right)^{3/2} - \left(\frac{\Delta m_{sd,x}}{m_{Rd,x}} \right)^{3/2} \right]$

Gl. 59
$$\Delta\psi_x = 1.5 \cdot \frac{1540}{317} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left[\left(\frac{166}{259} \right)^{3/2} - \left(\frac{67}{259} \right)^{3/2} \right] = 0.00590 \text{ rads}$$

- Plattenrotation in y -Richtung: $\Delta\psi_y = 1.5 \cdot \frac{r_{s,y}}{d_y} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left[\left(\frac{m_{sd,y}}{m_{Rd,y}} \right)^{3/2} - \left(\frac{\Delta m_{sd,y}}{m_{Rd,y}} \right)^{3/2} \right]$

Gl. 59
$$\Delta\psi_y = 1.5 \cdot \frac{1540}{301} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left[\left(\frac{162}{245} \right)^{3/2} - \left(\frac{65}{245} \right)^{3/2} \right] = \mathbf{0.00653 \text{ rads}} \rightarrow \text{regelnde Rotation}$$

Gl. 4 Somit wird die Spannung in den Verstärkungselementen aktiviert:

$$\sigma_{swd} = \min \left[\frac{200000 \cdot 0.00653}{6} \cdot \left(1 + \frac{3.275}{390} \cdot \frac{309}{16} \right); 390 \right] = \mathbf{253 \text{ N/mm}^2}$$

Gl. 3 Erforderliche Mindestbewehrung: $\Sigma A_{sw} = \frac{\max(0.5V_{Ed}; V_{Ed} - V_{Rd,c})}{k_{pi} \cdot k_{e'} \cdot \sigma_{swd}}$

$$\Sigma A_{sw} = \frac{\max(0.5 \cdot 1241; 1241 - 857) \cdot 10^3}{0.82 \cdot 0.94 \cdot 253} = \mathbf{3182 \text{ mm}^2}$$

Abstand der nachträglich installierten Elemente zur Durchstanzverstärkung:

Parameter	Auf Minimum und Maximum prüfen	
$s_0 = 150 \text{ mm}$	$0.35d_{ef} \leq s_0 \leq 0.5d_{ef}$	Erfüllt
$s_r = 150 \text{ mm}$	$s_{min,M16} = 96 \text{ mm}$; $s_r \leq 0.75d_{ef}$ (on $181 \leq d_{ef} \leq 340$)	Erfüllt
s_t für die ersten beiden Perimeter	$s_{min} \leq s_t \leq 1.5d_{ef}$ bei $s_{min,M16} = 96 \text{ mm}$	Erfüllt
s_t jenseits des zweiten Perimeter	$s_{min} \leq s_t \leq 2.0d_{ef}$ bei $s_{min,M16} = 96 \text{ mm}$	Erfüllt

Da $0.35d_{ef} \leq s_0 + s_r \leq 1.0d_{ef}$, können die Verstärkungselemente im **ersten und zweiten** Bewehrungsperimeter ΣA_{sw} zum Stahlwiderstand $V_{Rd,s,pi}$ beitragen.

8. Anordnung der Verstärkungselemente und Angaben zur Installation

Gl. 6 Äusserer Umfang, wo keine Verstärkung erforderlich ist, $V_{Ed} \leq V_{Rd,c,out} = k_r \tau_{cd} d_{ef,out} u_{out}$, wo $d_{ef,out} = d_{ef} - c_{res}$. Die Restabdeckung, $c_{res} = 40 \text{ mm}$, ist der Tabelle 3 von aBG Z.15-5.387 und der technischen Anmerkung von Hilti für die Grösse M16 entnommen.

$$u_{out} = \frac{V_{Ed}}{k_r \tau_{cd} (d_{ef} - c_{res})} = \frac{1241 \cdot 10^3}{1.068 \cdot 1.075 \cdot (309 - 40)} = 4018 \text{ mm}$$

- Radius von u_{out} vom **Mittelpunkt** der Stütze, $r_{out} = \frac{u_{out}}{2\pi} = 640 \text{ mm}$
- Exzentrizität des äusseren Umfangs, $k_{e,out} = \left(\frac{1}{1 + \frac{e_u}{2 \cdot r_{out}}} \right) = \left(\frac{1}{1 + \frac{47}{2 \cdot 640}} \right) = 0.96$
- Modifizierter äusserer Umfang, $u_{out,mod} = \frac{u_{out}}{k_{e,out}} = \mathbf{4185 \text{ mm}}$
- Radius von $u_{out,mod}$ von der **Oberfläche** der Stütze, $r_{out,mod} = \frac{u_{out,mod} - u_0}{2\pi} = \frac{4185 - 1600}{2\pi} = 411 \text{ mm}$

Mit $s_0 = 150 \text{ mm}$ und $s_r = 150 \text{ mm}$ können maximal **zwei** Bewehrungsringe in $u_{out,mod}$ passen; ausserdem darf die Durchstanzbewehrung nur in einem Abstand von mehr als $(411 - 0.5d_{ef}) = 257 \text{ mm}$ von der Auflagerfläche entfernt enden.

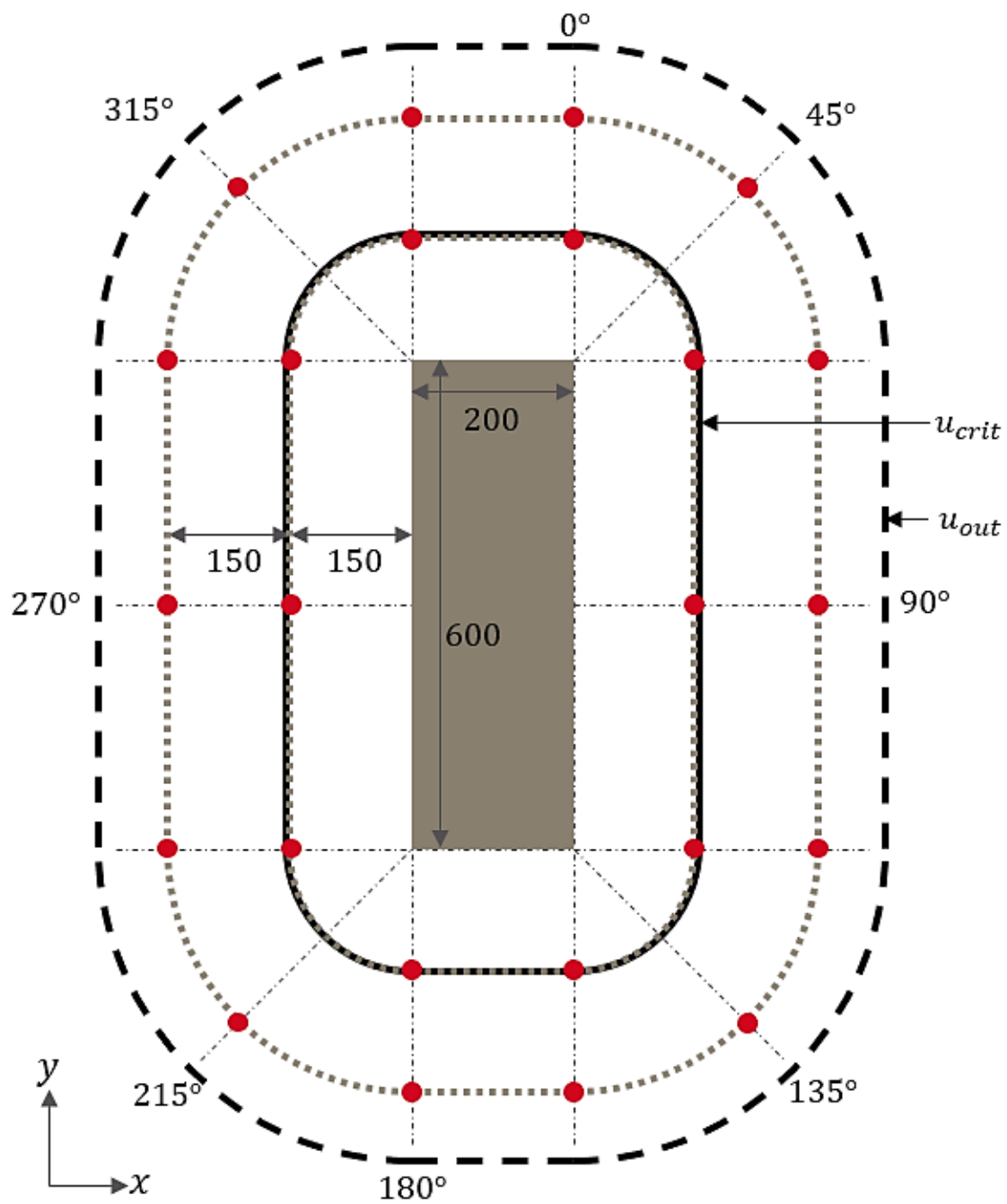
Umfang	Abstand von der Stützenkante (mm)	Umfangslänge (mm)	Erforderliche Stahlfläche (mm ²) ΣA_{sw}	Tangentialer Abstand (mm)	Anzahl Elemente pro Bewehrungsring	Bereitgestellte Stahlfläche (mm ²)
1	150	2543	3182	$300 \leq s_{t,max}$	10	1570
2	300	3485		$300 \leq s_{t,max}$	14	2198

Hinweis: Wenn die Position eines Verstärkungselements mit einer vorhandenen Biegebewehrung übereinstimmt, kann das betroffene Element um einen Mindestabstand von $2d_0$ und einen Höchstabstand von $0,2d_{ef}$ angepasst werden. Die Mindest- und Höchstabstandsregeln für radiale s_0 und s_r sowie tangentiale Abstände s_t aus Abschnitt 7 dieses Anhangs müssen jedoch stets eingehalten werden.

Installation gemäss der nationalen Zulassung und den Gebrauchsanweisungen des Herstellers:

- Verstärkungslösung: HIT-RE 500 V4 + HAS-U 8.8 M16 + Verfüllset
- Maximales Installationsdrehmoment, T_{inst} : 80 Nm
- Bohrlochdurchmesser, d_0 : 18 mm
- Bohrlochtiefe, l_{sw} : 310 mm
- Vorgeschlagene Bohrmethode: Hammerbohren (HD) mit Bohrhilfe
- Betonbedingung: Trockener Beton

Als Beispiel wird nachfolgend die empfohlene Bewehrungsanordnung dargestellt:



Anmerkung 1: Alle Masse in Millimetern.

REFERENZEN

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik, "Z-15.5-387 - Hilti Durchstanzverstärkungssystem (HIT-Punching Shear Strengthening) mit Hilti HIT-RE 500 V4," DIBt, Berlin, 2025.
- [2] DIN, "Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings; German version EN 1992-1-1:2004 + AC:2010," DIN, Berlin, 2011.
- [3] DIN EN 1992-1-1/NA: National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Berlin: DIN, 2013.
- [4] SIA, "SIA 262: Concrete Structures," Swiss Society of Engineers and Architects, Zürich, 2017.
- [5] fib, "Model Code for Concrete Structures 2010," Ernst & Sohn, Lausanne, 2013.
- [6] A. Muttoni, M. F. Ruiz, E. Bentz, S. Foster and V. Sigrist, "Background to fib Model Code 2010 Shear provisions - Part II: Punching Shear," *Structural Concrete*, vol. 14, no. 3, pp. 204-214, 2013.
- [7] SIA, "SIA 260: Basis of structural design," Swiss Society of Engineers and Architects, Zurich, 2017.